

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-331078

(43)Date of publication of application : 30.11.1999

(51)Int.Cl.

H04B 10/02

H04B 10/18

H01S 3/10

H04B 10/17

H04B 10/16

(21)Application number : 10-135337

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 18.05.1998

(72)Inventor : SHIYAKE IPPEI
TAKARA HIDEHIKO
MORI KUNIHICO
KAWANISHI SATOKI
YAMABAYASHI YOSHIKI

(54) OPTICAL AMPLIFICATION RELAY TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress deteriorations in a transmission characteristic caused by a nonlinear optical effect (especially FWM) due to spreading of optical signal pulses caused by wavelength dispersions or a pre-broadening method in an optical transmission line.

SOLUTION: The proposed system is provided with a pulse width adjustment means 6. The means 6 adjusts the pulse width of an optical signal pulse propagated through each optical fiber to be a prescribed width or below, and suppresses inter-bit FWM of a nonlinear optical effect by reducing timing overlap between adjacent optical pulses so as to avoid crosstalk between the adjacent optical pulses.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.12.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 11.06.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2002-12873

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 11.07.2002

[0002]

[Prior Art] FIG. 6 shows an exemplary configuration of a conventional optical amplification relay transmission system. A signal optical pulse sent from an optical transmitter 1 is transmitted to an optical receiver 4 via optical fibers 2-1 to 2-N for transmission purposes and optical amplification means 3-1 to 3-(N-1). At this time, although the intensity of a signal optical pulse is reduced due to a loss in each optical fiber 2 for transmission purposes, degradation in signal-to-noise ratio due to a loss is suppressed by amplifying a signal optical pulse with each optical amplification means 3.

[0003] Moreover, in the case where signal optical pulse broadening due to wavelength dispersion in the optical fiber 2 for transmission purposes and the optical amplification means 3 affects transmission characteristics, the conventional optical amplification relay transmission system is configured in such a manner that the wavelength dispersion of all optical transmission paths is collectively compensated by distribution compensation means included in the optical receiver 4.

FIG. 6

従来の光増幅中継伝送システムの構成例

EXEMPLARY CONFIGURATION OF A CONVENTIONAL OPTICAL AMPLIFICATION RELAY
TRANSMISSION SYSTEM

1. 光送信器

OPTICAL TRANSMITTER

4. 光受信器

OPTICAL RECEIVER

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-331078

(43) 公開日 平成11年(1999)11月30日

(51) Int.Cl.⁴

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M

10/18

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 1 S 3/10

H 0 4 B 9/00

J

H 0 4 B 10/17

10/16

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-135337

(22) 出願日 平成10年(1998) 5月18日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 社家 一平

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 高良 秀彦

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 森 邦彦

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

最終頁に続く

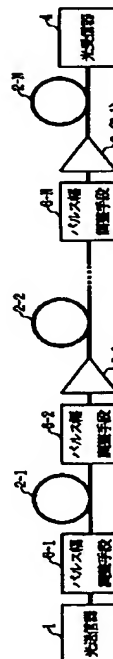
(54) 【発明の名称】 光増幅中継伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 光伝送路での波長分散やブリブロードニング法による信号光パルス広がり起因し、その非線形光学効果(特にFWM)によって生じる伝送特性の劣化を抑制する。

【解決手段】 各伝送用光ファイバを伝搬する信号光パルスのパルス幅が所定値以下になるように調整するパルス幅調整手段を備える。このパルス調整手段により信号光パルスのパルス幅を所定値以下に調整し、隣接光パルス同士の時間的重なりを少なくすることにより、非線形光学効果のビット間FWMを抑制し、隣接光パルス間のクロストークが生じないようにする。

本発明の光増幅中継伝送システムの第1の実施形態



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光送信器から送信された信号光パルスを複数の伝送用光ファイバおよび光増幅中継器を介して光受信器に伝送する光増幅中継伝送システムにおいて、前記各伝送用光ファイバを伝搬する信号光パルスのパルス幅が所定値以下になるように調整するパルス幅調整手段を備えたことを特徴とする光増幅中継伝送システム。

【請求項2】 光増幅中継伝送システムを構成する複数の光増幅中継器のうちの一部の光増幅中継器の前段または後段にパルス幅調整手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項3】 光増幅中継伝送システムを構成する各光増幅中継器の前段または後段にパルス幅調整手段を備えたことを特徴とする請求項1に記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項4】 パルス幅調整手段は、信号光パルスの1タイムスロットをTとしたときに、次段の伝送用光ファイバの入力端で信号光パルスのパルス幅d tが、 $T/2 \leq d t \leq T$

となるように調整することを特徴とする請求項1、2、3のいずれかに記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項5】 パルス幅調整手段は、高分散性光ファイバまたはチャープ光ファイバグレーティングまたはPLC型分散補償器を用いた構成であることを特徴とする請求項1、2、3、4のいずれかに記載の光増幅中継伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光増幅中継器を介して信号光パルスを伝送する光増幅中継伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 図6は、従来の光増幅中継伝送システムの構成例を示す。光送信器1から送信された信号光パルスは、伝送用光ファイバ2-1～2-Nおよび光増幅手段3-1～3-(N-1)を介して光受信器4まで伝送される。このとき、各伝送用光ファイバ2における損失により信号光パルス強度が低下するが、各光増幅手段3で信号光パルスを増幅することにより、損失による信号対雑音比の劣化が抑えられるようになっている。

【0003】 また、従来の光増幅中継伝送システムにおいて、伝送用光ファイバ2および光増幅手段3での波長分散による信号光パルス広がり伝送特性に影響する場合には、光受信器4内の分散補償手段によって全光伝送路が有する波長分散を一括して補償する構成をとる。

【0004】 また、信号光パルスのピークパワーが高い場合には、光ファイバ中の非線形光学効果の影響を受けやすくなることが知られている。そのため、図7に示すように、光送信器1の後段に分散付与手段5を配置し、伝送前に信号光パルス幅を広げてピークパワーを低減さ

せ、非線形光学効果の影響を抑圧するプリブロードニング法が提案されている（参考文献：Y.Miyamoto et al., "10 Gbit/s, 280km nonrepeated transmission with suppression of modulation instability", Electron. Lett., 10, pp.797-798, 1994）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、光伝送路での波長分散やプリブロードニング法によって信号光パルス幅が広がり、隣接光パルス同士が時間的に重なり合うと、非線形光学効果による相互作用を引き起こし、隣接光パルス間のクロストークが生じることが明らかになった。特に、隣接光パルスが時間的な重なりを保ったまま光増幅して光伝送路に送出すると、光強度が高いためにその非線形光学効果も大きくなり、隣接光パルス間のクロストークも大きくなる。

【0006】 図8は、プリブロードニング法を用いる場合の信号光パルス列の伝送状態を示す。信号光パルス列は、プリブロードニング用の分散付与手段（例えば光ファイバ）5を介してパルス幅を広げられた後に伝送用光ファイバ2を伝搬し、光受信器4の分散補償手段で分散補償される。(a)はプリブロードニング前、(b)はプリブロードニング後（伝送前）、(c)は伝送後、(d)は分散補償後の各信号波形を示す。ただし、上段は信号光パルス列の時間分解分光像を示し、下段は信号光パルス列の強度波形を示す。なお、(b)、(c)の各下段の光強度波形は、分かりやすくするために各ビットごとに表示しているが、実際にはそれらを合成した波形となる。以下に示す図2、5の光強度波形においても同様である。

【0007】 信号光パルス列として、(a)のように「0、1、1、0」を用いた場合における上記非線形光学効果の発生機構について説明する。分散付与手段5によってパルス幅が広がった信号光パルスA、Bは、適当な時間分解能をもつ時間分解分光によって観測すると、(b)のように各時点で異なる光周波数成分をもつことがわかる。

【0008】 時間的に重なり合うこの信号光パルス列が伝送用光ファイバ2を伝搬すると、信号光パルスA、Bが互いにポンプ光、プローブ光として働く四光波混合（FWM）が起こる。(c)の上段には、信号光パルスAをポンプ光とするFWMによってFWM光(1)が発生している様子と、信号光パルスBをポンプ光とするFWMによってFWM光(2)が発生している様子を示している。ここで、時間的に重なり合う信号光パルスA、Bの周波数成分の周波数差は、信号光パルスのスペクトル幅以下であるので、光強度が比較的小さくてもFWM効率が高い。

【0009】 (c)の上段におけるFWM光(1)、信号光パルスA、B、FWM光(2)の時間間隔は、ちょうど1タイムスロット相当の等間隔である。その結果、分散補償された信号光パルス列には、(d)に示すように「0」

10

20

30

40

50

であるべきタイムスロットにFWM光成分が現れる。これは、隣接光パルス間のクロストークとなり、伝送特性劣化の原因となる。

【0010】また、プリブロードニング法を用いない場合でも、伝送用光ファイバ中での波長分散による信号光パルス広がりにより、隣接光パルスに時間的重なりが生じると図8と同様のFWMが起こり、伝送特性劣化の原因となる（参考文献：社家他“光TDM伝送におけるビット間四光波混合の影響”，電子情報通信学会1998年総合大会講演論文集，B-10-143）。

【0011】このように、従来の光増幅中継伝送システムでは、隣接光パルス同士が時間的に重なったときのFWMにより隣接光パルス間のクロストークが大きくなり、伝送特性の劣化が避けられなかった。

【0012】本発明は、光伝送路での波長分散やプリブロードニング法による信号光パルス広がり起因し、その非線形光学効果（特にFWM）によって生じる伝送特性の劣化を抑制することができる光増幅中継伝送システムを提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅中継伝送システムは、各伝送用光ファイバを伝搬する信号光パルスのパルス幅が所定値以下になるように調整するパルス幅調整手段を備えたことを特徴とする。これにより、光伝送路での波長分散やプリブロードニング法により信号光パルスが広がっても、信号光パルスのパルス幅を所定値以下に調整できる。すなわち、隣接光パルス同士の時間的重なりを少なくすることができ、非線形光学効果のビット間FWMを抑制し、隣接光パルス間のクロストークが生じないようにすることができる。

【0014】パルス幅調整手段は、光増幅中継伝送システムを構成する複数の光増幅中継器のうちの一部の光増幅中継器の前段または後段に備える。また、各光増幅中継器の前段または後段にパルス幅調整手段を備えてもよい。

【0015】さらに、パルス幅調整手段は、信号光パルスの1タイムスロットをTとしたときに、次段の伝送用光ファイバの入力端で信号光パルスのパルス幅dが、 $T/2 \leq d \leq T$

となるように調整する。すなわち、信号光パルス幅をタイムスロットの $1/2 \sim 1$ の間に調整することにより、隣接光パルス同士の時間的重なりを少なくすることができる。

【0016】また、パルス幅調整手段は、高分散性光ファイバまたはチャープ光ファイバグレーティングまたはPLC型分散補償器を用いた構成とする。

【0017】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）図1は、本発明の光増幅中継伝送システムの第1の実施形態を示す。

【0018】本実施形態の構成は、図6に示す従来構成

における伝送用光ファイバ2-1および光増幅手段3-1~3-(N-1)の各前段にそれぞれパルス幅調整手段6-1~6-Nを配置したものである。なお、パルス幅調整手段6-2~6-Nは、各光増幅手段3の後段（伝送用光ファイバ2-2~2-Nの前段）に配置してもよい。また、パルス幅調整手段6は、各光増幅手段と必ずしもペアで配置する必要はなく、伝送用光ファイバの入力端における信号光パルスのパルス幅が所定値を越えるような位置にのみ配置するようにしてもよい。

10 【0019】以下、図2を参照して第1の実施形態の動作例について説明する。図2(a)は、m番目（mは1以上N未満の整数）の中継区間と、(m+1)番目の中継区間を示す。また、比較のために、従来構成におけるm番目の中継区間と(m+1)番目の中継区間を図2(b)に示す。

【0020】伝送用光ファイバ2-mを伝搬した信号光パルス(a1),(b1)は、その波長分散によりパルス幅が広がり、隣接光パルス同士が重なり合う。この信号光パルス幅をパルス幅調整手段6-(m+1)によって調整すると(a2)のようになり、光増幅手段3-mで増幅すると(a3)のようになつて伝送用光ファイバ2-(m+1)に送出される。一方、従来構成では信号光パルス(b1)を光増幅手段3-mで増幅するので(b2)のようになり、伝送用光ファイバ2-(m+1)に送出される。

【0021】光伝送路での非線形光学効果は信号光パルス強度が大きいほど大きいので、伝送用光ファイバ2-(m+1)への送出直後が非線形光学効果の影響が最も大きい。したがって、伝送用光ファイバ2-(m+1)への送出時に、隣接光パルス同士の重なりがある場合(b2)と、信号光パルス幅が調整されて隣接光パルス同士の重なりがない場合(a3)を比較すると、後者の方が非線形光学効果（特にFWM）の影響は小さい。

30 【0022】図3は、横軸に伝送距離（または伝送スパン数）、縦軸に信号光パルス重なりによる非線形光学効果（ビット間FWM）に起因する隣接光パルス間クロストークの大きさ（パワーペナルティ）を示す。図に示すように、適当な間隔で信号光パルス幅を所定値以下に調整する本発明の方が、隣接光パルス間クロストークが抑制されていることがわかる。

【0023】なお、パルス幅調整手段6は、伝送用光ファイバ2で付加された分散に対して異符号の分散を付加することにより、信号光パルスのパルス幅を所定値以下に調整するものである。例えば、高分散性光ファイバ、チャープ光ファイバグレーティング、PLC型分散補償器（参考文献：K.Takiguchi et al., "Higher order dispersion equaliser of dispersion shifted fiber using a lattice-form programmable optical filter", Electron. Lett., vol.32, no8, pp.755-757, 1996）等を用いることができる。ただし、パルス幅調整手段6は、

完全な分散補償を目的とするものではなく、ピークパワーが所定値以上にならないようにする必要がある。詳しくは、次の第2の実施形態において説明する。

【0024】(第2の実施形態) 信号光パルス強度が高い場合にはプリブロードニング法が有効であるが、パルス幅を広げ過ぎると隣接光パルス同士が重なり、隣接光パルス間クロストークが増大する。ここで、プリブロードニング後の信号光パルス幅(半値全幅)とパワーペナルティとの関係を数値計算した結果を図4に示す。計算条件は、信号光パルスのビットレートを100Gbit/s、

入力平均パワーを+10dBm、信号波長を1553nm、光ファイバの零分散波長を1552nm、伝送距離を80kmとした。比較のために、自己位相変調(SPM)と群速度分散(GVD)による波形劣化に起因する隣接光パルス間クロストークの影響も調べた。

【0025】10ビット符号が「0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0」の繰り返しに相当するパルスボタン(ボタン1)を伝搬させた場合には、「1」が10ビット離れているために、プリブロードニングによってパルス幅を広げても隣接光パルス同士の重なりが起りにくく、SPMとGVDの影響のみが現れる。一方、10ビット符号が「0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0」の繰り返しに相当するパルスボタン(ボタン2)を伝搬させた場合には、SPM・GVDと隣接光パルス同士「1, 1」の重なりによるFWMの影響が共に現れる。

【0026】図4において、×印がボタン1の場合に対応し、○印がボタン2の場合に対応する。パワーペナルティは、隣接光パルス間クロストークから導いた。クロストークは、伝送後の「1」であるべきタイムスロットに含まれる光エネルギーに対して、「0」であるべきタイムスロットに漏れ込んだ光エネルギーの比として算出した。

【0027】ボタン1の場合は、信号光パルス幅が13ps(図示しないが約100ps)までは、ビット間FWMの影響が無視でき、SPMとGVDによる波形劣化の影響のみが現れる。なお、信号光パルス幅が5ps以下になると、ピークパワーが大きくなるためにSPMとGVDによる波形劣化の影響がさらに大きくなる。一方、ボタン2の場合は、「1, 1」の隣接光パルス間隔が10psとなることから、そのFWMの影響がパワーペナルティに現れる。信号光パルス幅が6ps以上では、ボタン1の場合とボタン2の場合でパワーペナルティの変化に違いが見られる。ボタン1の場合は、プリブロードニングによって信号光パルスを広げても、パワーペナルティはほとんど変化しない。一方、ボタン2の場合は、信号光パルス幅を広げていくとパワーペナルティが増大する。これは、プリブロードニングによる信号光パルス幅の拡大により、隣接光パルス間のFWMの影響が増大するためである。

【0028】以上により、パワーペナルティの許容範囲

の上限となる信号光パルス幅は、隣接光パルス間隔(=タイムスロットT)と同じ10psが望ましい。また、信号光パルス幅が5ps以下では、ボタン1およびボタン2ともにSPMとGVDの影響が顕著になる。結果として、パワーペナルティの許容範囲に対応する信号光パルス幅dtの範囲として、

$$T/2 \leq dt \leq T$$

が得られる。

【0029】図5は、本発明の光増幅中継伝送システムの第2の実施形態の動作例を示す。なお、本実施形態の構成は、図1に示す第1の実施形態と同様である。本実施形態の特徴は、パルス幅調整手段6で完全に分散補償を行うのではなく、信号光パルス幅をT/2~Tに調整することである。図2(a)と図5を比較すると、信号光パルス幅を本実施形態のように調整する方が、完全に分散補償を行うよりもピークパワーを抑えてSPMとGVDによる影響を抑制し、かつ隣接光パルスの重なりによるFWMの影響も小さく抑えることができる。

【0030】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅中継伝送システムは、信号光パルスのパルス幅を所定値以下に調整することにより、隣接光パルス同士の時間的重なりを少なくすることができる。これにより、非線形光学効果のビット間FWMを抑制し、隣接光パルス間のクロストークを最小限に抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光増幅中継伝送システムの第1の実施形態を示すブロック図。

【図2】本発明の光増幅中継伝送システムの第1の実施形態の動作例を示す図。

【図3】伝送距離とパワーペナルティの関係を示す図。

【図4】数値計算によるプリブロードニング後の信号光パルス幅(半値全幅)とパワーペナルティとの関係を示す図。

【図5】本発明の光増幅中継伝送システムの第2の実施形態の動作例を示す図。

【図6】従来の光増幅中継伝送システムの構成例を示すブロック図。

【図7】プリブロードニング法を用いた従来の光増幅中継伝送システムの構成例を示すブロック図。

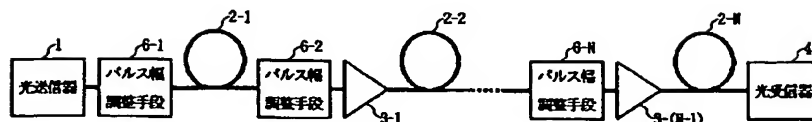
【図8】プリブロードニング法を用いる場合の信号光パルス列の伝送状態を示す図。

【符号の説明】

- 1 光送信器
- 2 伝送用光ファイバ
- 3 光増幅手段
- 4 光受信器
- 5 分散付与手段
- 6 パルス幅調整手段

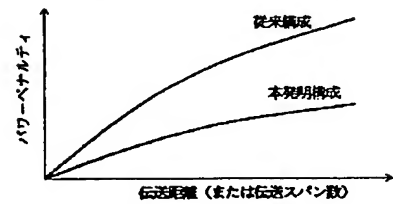
【図1】

本発明の光増幅中継伝送システムの第1の実施形態



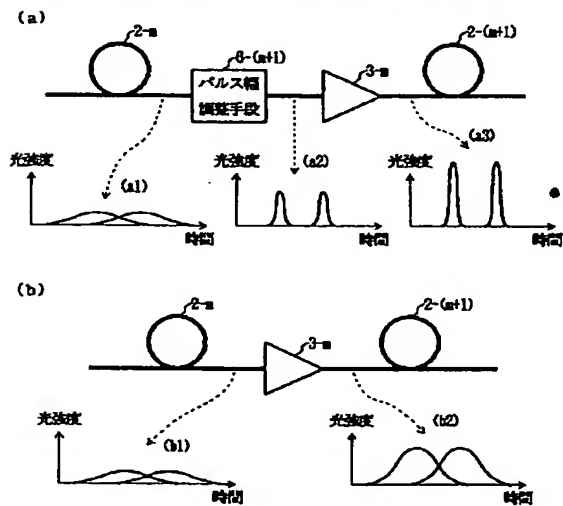
【図3】

伝送距離とパワーペナルティとの関係



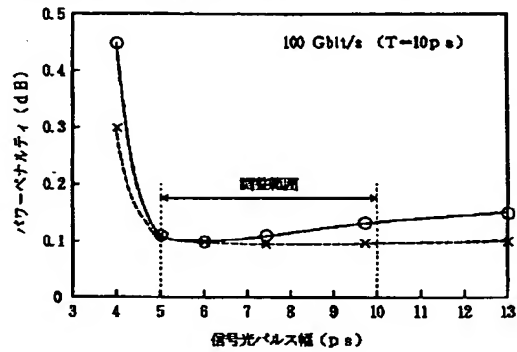
【図2】

本発明の光増幅中継伝送システムの第1の実施形態の動作例



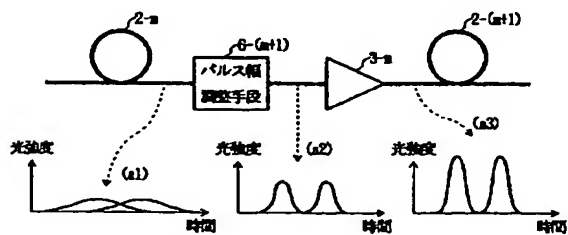
【図4】

数値計算によるプリブロードニング後の信号光パルス幅（半値全幅）とパワーペナルティとの関係



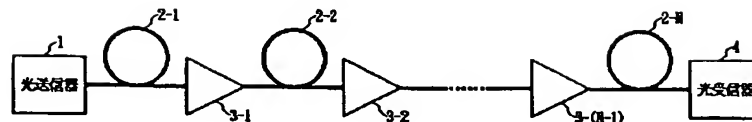
【図5】

本発明の光増幅中継伝送システムの第2の実施形態の動作例



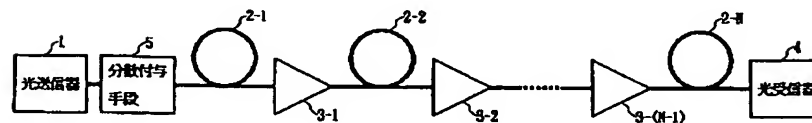
【図6】

従来の光増幅中継伝送システムの構成例



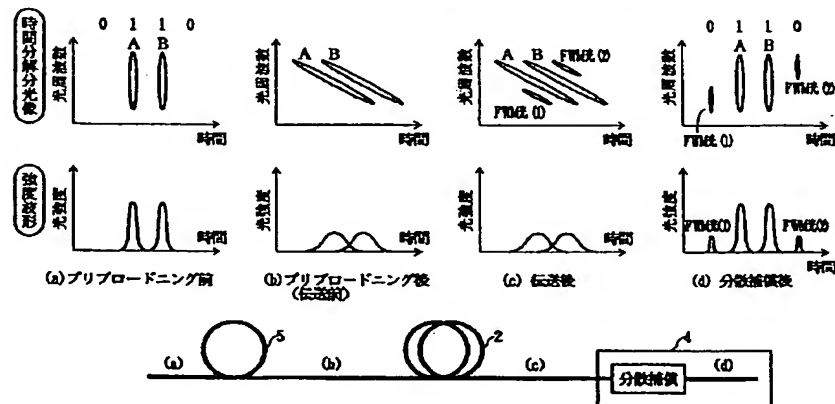
【図7】

プリブロードニング法を用いた従来の光増幅中継伝送システムの構成例



【図8】

プリブロードニング法を用いる場合の信号光パルス列の伝送状態



フロントページの続き

(72)発明者 川西 悟基
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 山本 由明
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内